

Gondolatok a gazdaságilag hatékony és ökológiailag elviselhető foszfortrágyázásról

Az elmúlt 30 évben a volt NDK területén és más európai államokban a gabonafélék terméseredményei megduplázódtak. Néhány szemléltető adat: Az átlagos búzaszemtermés 1956-1960 között 31 q/ha, 1986-ban 56 q/ha; a szem:szalma arány 1956-1960 között 1:1,9, 1986-ban 1:1,2; a learatott biomassa /gyökér nélkül/ 90 q/ha, ill. 123 q/ha volt 1956-1960 között, illetve 1986-ban. A szem+szalma által felvett P-mennyiség 1956-1960 között 14 kg/ha, míg 1986-ban 25 kg/ha volt /KLAPP, 1958; SEIFERT, 1981; SCHILLING, 1987/.

A terméseredményekben bekövetkezett növekedés kb. azonos mértékben tudható be a növénynevelésnek /VOSE, 1983/, és a fokozottabb műtrágya-felhasználásnak /SARIC, 1987/. A fokozottabb műtrágya-felhasználáson belül a P-műtrágyázás sajátos jelentőségű. A volt NDK területén 6,1 kg elemi P/ha értékről az 1950-es években 14,4 kg/ha-ra, majd az 1960-as években 25,6 kg/ha-ra emelkedett, míg végül az 1970-es évek végére elérte a 29,4 kg P/ha mennyiséget. Jelenleg a felhasznált P-műtrágya mennyisége kb. 22 kg P/ha. Ehhez jön még a szerves trágyák P-tartalma.

A terméseredmények növekedésével együtt nőtt a felvett foszfor mennyisége is. Ebből azt a következtetést lehetne levonni - és sokan ezt várták /BOUCHET, 1982; GROSSKOPF, 1980; BOLLING, 1985/ -, hogy a területegységre számított minden további termésnövekedés a ráfordítások megfelelő növekedését fogja maga után vonni. Ennek nemzetgazdasági következményei lennének, mivel 1960 óta egy tonna P_2O_5 ára kb. háromszorosára emelkedett /BUCHNER, 1986/. Kíváncsún lenne tehát az egy tonna gabonaegységre eső specifikus ráfordítást csökkenteni. De nemcsak gazdaságossági kérdésekről van szó. A mezőgazdaság a vizek eutrofizálásához is hozzájárul. A foszforfeldúsulás WELTE és TIMMERMANN /1985/ szerint ennél a folyamatnál főleg a talajrézecskek eróziója következtében megy végbe. Így ökológiai szempontból az a követelmény, hogy a P-körfolyamat jobban záruljon és a műtrágya-felhasználás csökkenjen /HARENZ, 1989; KOSCHEL, 1989/. A német gazdák figyelmét felhívták arra, hogy a szerves trágyák P-tartalmát teljes egészében vegyék számításba a P-mérleg elkészítésénél, valamint a szükséges műtrágyamennyiség kiszámításánál, mivel a szerves trágyák P-tartalma a műtrágyák P-tartalmával azonos hatású /SCHILLING, 1987/.

Ezeket - a valamennyi P-tartalmú műtrágya racionális alkalmazásával kapcsolatos és a gyakorlatot közvetlenül érintő intézkedéseken - kívül az agrokémiai kutatásnak az is feladata, hogy új módokat keressen a trágya-P és a talaj-P hatékonyabb felhasználása érdekében. Az alábbiakban néhány erre vonatkozó megfontolásról és kísérleti eredményről számolunk be.

Ha a feloldódó műtrágyaszemcséből kiindulva lépésről lépésre nyomon követjük a foszfátionok útját szorpció/desorpciójukon, ill. kicsapódásukon és újra-feloldódásukon, a gyökérfelülethez történő odaszállításukon, a kéreg-

sejtek membránjain történő áthatolásukon keresztül egészen a növényen belül végbemenő szállítási /transport/ folyamatokig, a hajtásba történő szállításhoz és a termést hozó anyagokba történő beépülésig, akkor számos "hiba-helyet" fedezhetünk fel /RÖMER, 1985/. E vizsgálódás folyamán a növények P-szükségletét és ennek kielégítését, valamint a P-műtrágya mennyiségének meghatározására szolgáló eljárásokat /pl. a talaj P-szolgáltató képességének, ill. a növények P-ellátottsági állapotának meghatározása/ illetően kérdések merülnek fel. Néhány saját és számos más kutatótól származó kísérleti eredménnyel szeretnénk az ezzel kapcsolatos problémákra és megoldási lehetőségekre rávilágítani.

A növények P-ellátottsági követelményei és viselkedésük differenciált P-kínálat esetén

Az 1. táblázatban bemutatjuk az őszi búza napi P-felvételét a különböző fejlődési fázisokban. 5,6 t/ha szemtermés esetében az őszi búza a szárbaindulás, ill. kalászosulás idején több, mint 700 g/ha/nap mennyiségben vette fel a foszfort /RÖMER, 1985/. MATZER és SUNTHEIM /1982/, valamint BUCHNER és STURM /1985/ a növények megközelítően azonos fejlődési stádiumában hasonló nagyságrendű P-felvételt határoztak meg.

1. táblázat
Őszi búza napi P-felvétele /g P/ha/ /Halle, 1980-1981/
/RÖMER, 1985/

DC kód *	30	31-39	40-59	71-87
Feekes-skála	4/5-6/7	6/7-9/10	9/10-10/15	17-17/18
P-felvétel, g P/ha/nap	202	389	778	23

* DC kód = decimális kód /azonos a Zadok skálával/

2. táblázat
Különböző időszakokban adagolt P-műtrágyázás /300 mg P/edény/
hatása tavaszi búzával /Hatri/ végzett tenyészedény-kísérletben
/WUHB, 1985/

P-műtrágya kezelés	Szemtermés /relatív/	P-felvétel /relatív/
P-műtrágyázás nélkül	39	48
P-műtrágyázás három hét- tel vetés előtt	100 /7 g/edény/	100 /35 mg/edény/
P-műtrágyázás vetéskor	103	118
P-műtrágyázás vetés után	154	149
SzD _{5%} /Tukey/	28	24

Megjegyzés: A tenyészedény-kísérletet Halle-Neustadt-i talajjal /lásd 5. táblázat/ végezték.

A P-felvétel nem folyamatos. A növények ontogenezise során nyilvánvalóan vannak időnként felvételi csúcsok, de vannak olyan időszakok is, amikor kisebb mértékű a felvétel. Amennyiben a növények P-felvétele nagyfokú P-igénnyel esne egybe, akkor ennek a jelenségnek a növények P-táplálásra, tehát a P-műtrágyák adagolására nézve következményekkel kellene bírnia. Táptáplálék-kultúrákkal végzett kísérletekben differenciált P-adagokat adtak a búzanövényeknek fejlődésük során, s azt tapasztalták, hogy a fiatal növények nagy P-felvétele ténylegesen a növények nagy P-igényét fejezi ki és nem luxus-felvételről van szó, mivel a fiatal növények által felvett foszfor a későbbiekben nagymértékben kihatott a terméseredményekre /RÖMER és SCHILLING, 1986/. Ha ilyen fiatal növények esetében megfelelő trágyázási eljárást alkalmazunk, akkor ennek megfelelő terméseredményeket kellene kapnunk, különösen akkor, ha a talaj erősen köti a foszfort /pl. Halle-Neustadt-i talaj, lásd 4. táblázat/. Ezen a talajon Mitscherlich-edényekben tavaszi búzát /Hatri/ termeltünk /2. táblázat/.

A 2. táblázat adataiból is jól látható, hogy a 3 héttel vetés után, feloldott $\text{Ca}/\text{H}_2\text{PO}_4/2$ alakjában egyenesen a gyökérszónába adott P-műtrágya eredményezte a legnagyobb P-felvételt és szemtermést. Ez azt jelenti, hogy a talaj szorpció-képessége és a növény P-szükséglete közötti arányt a trágyázásnál tekintetbe kellene venni. Legalábbis, a foszfátokat erősen megkötő talajoknál a P-trágyázást csak akkor lenne szabad alkalmazni, amikor már foszfort felvenni képes gyökerek vannak jelen, vagy röviddel ezek megjelelése előtt. SUNTHEIM és MATZEL /1985/ ugyanerre az eredményre jutottak, amikor foszfort fixáló gneis-málladéktalajon kukoricát termesztettek. Szabadföldi kísérleteik alátámasztják a tenyésztedény-kísérletek eredményeit.

A P-műtrágyázás időpontján kívül - a termésre gyakorolt hatását tekintve - a P-műtrágyázás módja is szerepet játszik.

A 3. táblázatban egy tavaszi árpával végzett tenyésztedény-kísérlet eredményeit mutatjuk be. A kísérletben 200 mg foszfort kevertünk be a felső ré-

3. táblázat

A P-trágyázás hatása a tavaszi árpa /Salore/ szemtermésére és a termés egyéb összetevőire tenyésztedény-kísérletben

Műtrágya-kezelés	mg P/ edény	g szem/ edény	kalász/ növény	szem/ kalász	Száraz anyag
Kontroll	0	8,0	1,9	15,6	30
<u>Relatív értékek</u>					
Kontroll	0	100	100	100	100
Triple-szuperfoszfát a felső rétegben	200	124	132	99	95
Triple-szuperfoszfát 3 cm-re a vetés alá	100	135	153	95	93
Amphos 3 cm-re a vetés alá	100	148	142	117	91
SzD _{5%} /Tukey/		28	39	27	15

Megjegyzés: A tenyésztedény-kísérletet löszös vályogtalajon /pH/KCl/ = 6,8; DL-P = 66 mg/kg/ állították be. 9 növény/edény egy sorban.

tegbe, ill. ennek az adagnak a felét /100 mg-ot/ triple-szuperfoszfát, valamint ammophosz alakjában a vetés alatt 3 cm-rel helyeztünk el. Megjegyezzük, hogy a fél P-adaggal ugyanakkora termésnövekedést értünk el a műtrágya megfelelő elhelyezése következtében. E termésnövekedés oka elsősorban az volt, hogy növényenként nagyobb volt a kalászkák száma. Emellett úgy tűnik, hogy a kalászonkénti szemszám is nagyobb volt - amint erre más kísérletekből következtetni lehetett. A száraz anyag tömege viszont sohasem változott, azaz a nagyobb szemtermés nyilvánvalóan a területegységenkénti nagyobb szemszámból adódott.

Választ kerestünk arra a kérdésre, hogy a kezdettől fogva jobb P-táplálás következtében több hajtás és hajtásonként több kalászkák fejlődött-e, vagy, hogy ez a fejlődési folyamat lefékeződött-e a növények egész fejlődése folyamán a foszforral különbözőképpen táplált növények esetében, ezért

4. táblázat
Őszi-buza /Alcedo/ termés-komponenseinek fejlődése a P-ellátottság függvényében egy kvarc-homokon beállított tenyészedeny-kísérletben

Terméskomponensek	P-szint	mg P/edény, vetéskor				
	300		300	100	50	SzD _{5%}
Szemtermés /g/edény/	42	rel.	100	86	38	14
Kalász/növény	2,3	rel.	100	91	52	23
Szem/egész növény	123	rel.	100	89	45	n.h.m.
Szem/főhajtás	54	rel.	100	89	82	17
Szem/hajtás 1. bokrosodáskor	40	rel.	100	83	28	27
Szem/hajtás 2. bokrosodáskor	29	rel.	100	100	0	50
Valamennyi szem száraz anyaga	31	rel.	100	100	86	10
Élő hajtás/növény DC 29, F 3:		absz.	3,8	3,8	3,1	14
		rel.	100	100	82	
Élő hajtás/növény DC 39, F 9:		absz.	2,9	3,2	2,2	n.h.m.
Elhalt hajtás %/növény						
DC 39 /DC 29 = 100/			24	16	29	n.h.m.
Élő hajtás/növény DC 69, F 16:		absz.	2,9	2,1	1,4	n.h.m.
Elhalt hajtás %/növény DC 69						
DC 29 = 100/			24	45	55	n.h.m.
DC 31 és DC 69 közötti időben:						
Kalászkák száma/egész növény		absz.	24,1	21,9	13,7	25
		rel.	100	91	57	
Kalászkák száma/főhajtás		absz.	10,1	9,9	8,7	13
		rel.	100	98	86	
Kalászkák száma/1. bokrosodáskor		absz.	9,6	8,6	4,4	43
		rel.	100	90	46	
Kalászkák száma/2. bokrosodáskor		absz.	4,4	4,4	0,7	n.h.m.
		rel.	100	75	16	
Növények %-os aránya, melyeknek						
a DC 91-nél az 1. bokrosodásból származó szemei voltak			86	86	15	n.h.m.
a DC 91-nél a 2. bokrosodásból származó szemei voltak			41	21	0	n.h.m.

n.h.m. = nem határoztuk meg.

számlálásokat kellett végrehajtunk. Erre a célra tenyészvényekben, három P-trágyázási szint mellett, őszi búzát /Alcedo/ neveltünk, amelyeket különböző időpontokban bonitáltunk és éréskor learattunk. Az eredményeket a 4. táblázatban mutatjuk be.

A foszforral alultáplált növények terméscsökkenése kb. azonos mértékben tudható be a kalászek csökkent számának /52 %/, ill. növényenként kevesebb megtermett szemnek /45 %/. A száraz anyag azonban csak 14 %-kal csökkent! Az a tény, hogy éréskor kevesebb kalászt hordozó hajtás létezett, kisebb mértékben volt annak a következménye, hogy a bokrosodás gyengébb volt /a DC 29 esetében csak 82 %/, mint annak, hogy a hajtások száma kifejezetten lecsökkent. A DC 69 fejlődési szakaszban azon hajtások 55 %-a már elhalt, amelyek a DC 29-nél még zöldek voltak. Kielégítő P-ellátás esetén viszont csak a hajtások 24 %-a pusztult el. A P-hiány továbbá azt is eredményezte, hogy csökkent a növényenkénti kalászkák száma /DC 31-nél csak 57 %/, valamint a termékeny kalászkák száma is, mivel DC 91-nél az 1. bokrosodás hajtásain termett kalászkák csak az esetek 15 %-ában tartalmaztak szemet. A 2. bokrosodás hajtásain termett kalászkákban pedig egyáltalán nem volt érett szem.

A fenti és korábbi adatokból /BOATWRIGHT és VIETS, 1966; MUNK, 1976/ arra a következtetésre lehet jutni, hogy a gabonanövényeknek a bokrosodás kezdetétől a szádba indulásig van a legnagyobb P-szükséglete, különösen azért, mert ebben az intervallumban fejlődnek ki a generatív szervek és ezek alapozzák meg a növény termékenységet: a későbbi szemszám/felületegységet, mint a terméshozam egyik fő komponensét.

Ha összehasonlítjuk ezt a viszonylag rövid időközre behatárolt igen magas P-szükségletet azzal az eddigi trágyázási gyakorlattal, hogy a P-műtrágyát 2-3 évre előre adjuk, akkor az ilyen trágyázási rendszerrel szemben megfontolások merülnek fel. Ezt a következő kísérlettel szeretnénk megmagyarázni:

Ha nedves talajhoz vízzoldható foszfátot adunk és nyomon követjük a talaj vízzoldható P-tartalmának időbeli változását /talaj:H₂O = 1:250/, akkor azt tapasztaljuk, hogy egy nap után is már csak az elméleti érték 44-75 %-át kapjuk vissza /5. táblázat/. Ezután a vízzoldható P-tartalom már lényegesen lassabban csökken. Ez az eredmény elvileg egyezik SUNTHEIM és MATZEL /1987/ és PAGEL és HUAY /1976/ adataival. Ezek az adatok mind arra a tényre mutatnak rá, hogy a foszfátionok legnagyobb része néhány nap elteltével már nincs a talajoldatban, ill. már nem deszorbeálódik könnyen és a gyökerek már nem képesek közvetlenül felvenni ezeket az ionokat. A DL-módszerrel kapott értékek nem változnak olyan gyorsan /5. táblázat/, de a trend azonos.

Érdekes, hogy a Halle-i homokos-lössön kialakult feketeföld esetében a P-megkötés sokkal kisebb mértékű, mint a másik két talajnál. Ez utalás a talajok eltérő kemizmusának hatására.

A növények meghatározott időszakra korlátozódó igen nagy P-igénye egyrészt, és a talajok P-dinamikája másfelől, rávilágítanak arra, hogy a foszforral történő előretrágyázás megfontolandó. Korábbi években főleg a munkaerővel és az energiával történő takarékoság szempontjából javasolták /ANSORGE et al., 1981/. Ezek a paraméterek a jövőben is fontosak lesznek, de ezen felül a trágyában adott foszfort jobban ki kell használni és környezetvédelmi szempontok miatt lehetőleg kis műtrágyaadagokat kell alkalmazni. Ezért szükséges lenne szabadföldi kísérletekben vizsgálni, hogy kisebb talaj-P-értékek mellett, a növények célzott P-táplálásával elérhető-e nagy terméseredmények.

Ha tehát a jövőben nagyobb súlyt kell helyezni a növények célzott P-táplálására, mint eddig, akkor a növények fejlődési fokától függő P-tápláltsági állapotát és a talaj P-szolgáltató képességét is jobban meg kell tudni határozni. Ezzel a két problémával foglalkozunk a következőkben.

5. táblázat
Három talaj vízzoldható- ill. DL-oldható P-tartalma, mg P/100 g talaj

Talaj száma- zási helye *	P-adagolás előtt	Elméleti érték	1 nappal a P-műtrágya adagolása után **	3 héttel	6 héttel
<u>A talajok vízzoldható P-tartalma, mg P/100 g talaj</u>					
Halle	4	25 /100/	18,7 /75/	16,1 /64/	16,8 /67/
Schlöben	1,9	22,9 /100/	10,0 /44/	9,8 /43/	8,4 /36/
Halle-Neustadt	0,6	21,6 /100/	11,5 /53/	9,9 /45/	7,0 /32/
<u>A talajok DL-oldható P-tartalma, mg P/100 g talaj</u>					
Halle	12	33,0 /100/	30,9 /94/	30,8 /94/	31,3 /95/
Schlöben	2,4	23,4 /100/	19,9 /85/	20,3 /87/	18,4 /79/
Halle-Neustadt	0,3	21,3 /100/	15,8 /74/	15,2 /71/	12,2 /57/

*Leipzigolható rész: 9 % /Halle/; 12 % /Schlöben/; 11 % /Halle-Neustadt/
pH: 7,1 /Halle/; 4,9 /Schlöben/; 7,7 /Halle-Neustadt/.

**Műtrágyázás: 21 mg P/100 g talaj adagot $\text{Ca}/\text{H}_2\text{PO}_4/2$ formájában helyeztek el a vetőmagok közelében

A növények P-tápláltsági állapotának ellenőrzése

Jelenleg a gabonanövények P-ellátottságát a növényi száraz anyag P-tartalmának meghatározásával ellenőrizzük. A 6. táblázatban az erre vonatkozó határértékek találhatók.

A határértékek közötti különbség legtöbbször több, mint 100 %, nitrogén és kálium esetében a határértékek közötti tartomány jelentősen szűkebb /VIELEMEYER et al., 1983/. Ebből nyilvánvaló, hogy a foszfor esetében bonyolult egy nagy terméshozamokra is kiterjedő határérték-tartományt szűk határértékek között megadni. Ebből következik azonban a kérdés: nem létezik-e egy olyan növényi paraméter, amelynek segítségével a növények P-ellátottságát jobban lehet jellemezni, mint a fenti határértékekkel.

Ha különböző gabonaféléket változó P-adagolás mellett tenyészedenyben vagy szabadföldön termesztünk /GRANSEE, 1988/, akkor ezek P-frakcióinak részletes vizsgálata világos bizonyítékul szolgál arra nézve, hogy a DC 39 /F 9/ fejlődési stádiumig a száraz anyagban található szervesen foszfát koncentrációja jobban korrelál a szenterméssel, mint az összes P-tartalom /7. táblázat/. A nukleinsavak, az észterek és a lipidek foszforja ellenben nem volt alkalmas a szentermés előrejelzésére. Megjegyzendő továbbá, hogy a savanyú foszfatázok aktivitása /melyet friss növényi anyagban határoztak meg/ erősen függött $r = -0,71$ a P-ellátottságtól, például a száraz anyagban található összes-P koncentrációjától.

A szentermés és a 8. táblázatban megadott növényi paraméterek közötti korrelációs koefficiensek is legtöbbször nagyok és statisztikailag szignifi-

6. táblázat
A kielégítő P-ellátottságot mutató határérték a búza
különböző fejlődési szakaszaiban
/VIELEMEYER et al., 1983/

Feekes skála	Növényállomány magassága, cm	P% a száraz anyagban	P% a száraz anyagban /relatív/
3/4	15	0,40 - 0,72	100 - 180
5/6	31	0,28 - 0,63	100 - 225
7/8	49	0,22 - 0,52	100 - 236
10	72	0,21 - 0,43	100 - 204

7. táblázat
Lineáris korrelációs koefficiensek különböző fejlődési stádiumban
lévő búzanövények száraz anyagában lévő összes-P /P_ö/ ill. szer-
vetlen-P /P_{sz}/ és a növények szemtermése közötti kapcsolat jellem-
zésére /GRANSEE, 1938 alapján/

	DC-skála					
	30		32		39	
	Feekes skála					
	5		7		9	
	P _ö	P _{sz}	P _ö	P _{sz}	P _ö	P _{sz}
Szemtermés	0,71 ⁺⁺	0,84 ⁺⁺	0,72 ⁺⁺	0,81 ⁺⁺	0,61 ⁺	0,76 ⁺

Szignifikáns: ⁺5 %; ⁺⁺1 %-valószínűségi szinten.

Tápoldatkultúra növekvő P-szintekkel: 0,5 - 2 - 5 ppm P;

Konstans mennyiségben 80 ppm N, 70 ppm K, 10 ppm Mg, 20 ppm Ca és mikro-
tápelemek. 16 növény 5 liter tápoldatban.

8. táblázat
Lineáris korrelációs koefficiensek különböző növényi para-
méterek és a szemtermés ill. az éréskor /szem+szalma/ mért
P-felvétel között búza esetében 16 talajon
/RÖMER et al., 1988/

	Savanyú foszfatáz- enzim aktivitása	Száraz anyag	
		szervetlen P-koncent- rációja	összes P-koncent- rációja
Szemtermés	-0,80 ⁺⁺⁺	0,68 ⁺⁺⁺	0,52 ⁺
P-felvétel	-0,86 ⁺⁺⁺	0,67 ⁺⁺	0,67 ⁺⁺

Szignifikáns: ⁺5 %; ⁺⁺1 %; ⁺⁺⁺0,1 % valószínűségi szinten.

kánsak voltak, akkor is, ha a növények különböző talajokon /azaz különböző
DL-P-tartalmú talajokon/ nőttek /8. táblázat/.

Mivel azonban kiderült /GRANSEE, 1987/, hogy a DC 21 /F2/ és DC 45 /F
10/ fejlődési stádium között a szervetlen foszfáttartalom folyamatosan csök-

ken, a foszfatáz-aktivitás viszont DC 29 /F3/ és DC 37 /F8/ között viszonylag állandó marad, ezért a növények P-tápláltságának meghatározásához jobb kritériumnak tűnik a második paraméter.

Az első határértékeket foszforral végzett szabadföldi kísérletek adatainak felhasználásával tavaszi árpához dolgozták ki /GRANSEE, 1988/. Újabb, kukoricával végzett vizsgálatok is igen szoros összefüggést mutattak a foszfatáz-aktivitás és a terméshozam között.

Azt is vizsgáljuk továbbá, hogy milyen mértékben módosítja a savanyú foszfatáz aktivitását a genetikai befolyás és bizonyos környezeti tényezők /pl. vízstressz/, ami nagyon lényeges a növények P-műtrágya-szükségletét megadó határértékek kidolgozásához, ill. pontosításához.

Ezzel a növények P-ellátottságának ellenőrzéséhez egy új lehetőség rajzolódik ki, amely segíteni fog abban, hogy egy céltudatosabb és ezzel együtt hatékonyabb P-műtrágyázást lehessen alkalmazni. A levelekben található savanyú foszfatázok aktivitásának meghatározása ennél az új eljárásnál különleges szerepet játszik.

A talajok P-szolgáltató képességének ellenőrzése

A rendszeres talajvizsgálatok során, amit az NDK-ban 1952-ben törvényesen szabályoztak, a talajok P-ellátottságának ellenőrzésére a DL- /Doppel-laktat-/módszert használják. Csak úgy lehetett ennek a tápanyagnak az alakulását ilyen hosszú időn keresztül nyomon követni a határértékek ill. besorolási eljárások változtatása ellenére, hogy a talajvizsgálatok céljára megtartottuk a DL-módszert /WITTER, 1988/. Ez adja az alkalmazott módszer nem lebecsülendő értékét. Megjegyzendő, hogy négy nemzetközileg gyakran alkalmazott módszer további tesztelése sem eredményezett jobb megbízhatóságot a talajból kivonható P-tartalom és a növények P-felvétele közötti kapcsolatot illetően. Ezek a B-értékek /megbízhatóság/ 0,52 és 0,61 között voltak /RICHTER és FLOSSMANN, 1987/. THAMM és SARKADI /1988/ elvileg ugyanerre az eredményre jutottak, amikor ezekkel a módszerekkel karbonátos és nem-karbonátos talajokat elkülönítve vizsgálták meg. Ebből nyilvánvalóvá válik, hogy a talajok P-ellátottságának hosszú időn át történő nyomon követésére a DL-módszert nem szükséges egy másik módszerrel /pl. CAL, AL, H₂O, van der PAAUW szerint, NaHCO₃ - Olsen szerint/ helyettesíteni. De azzal a kérdéssel kapcsolatban, hogy a növények szükség szerűen nagymértékű P-felvétele idején jól adja-e vissza a laktátmódszer a talajok P-szolgáltató képességét, egyre több kritikai megjegyzés hangzik el /MUNK, 1983/.

Diffúziós vizsgálatokból /RÖMER és SCHILLING, 1988a,b/ ismeretes, hogy a gyökérhez diffundáló foszfor mennyiségét a labilis vagy vízoldható foszfát /talaj:víz = 1:250/ jól jellemzi, a DL-P azonban kevésbé jól. És valóban, a fiatal búzanövények által felvett foszfát jobban korrelált a H₂O-P-ral, mint a DL-P-ral /9. táblázat/. Tehát úgy tűnik, hogy az a foszfát, a-

9. táblázat

Lineáris korrelációs koefficiens búzanövények P-felvétele és a talaj P-értéke között /RÖMER et al., 1988/

	P-felvétel	
	Őszi búza /DC-31 n=29/	Tavaszi búza /DC 32/36 n=36/
DL-P	0,42 ⁺	0,65 ⁺⁺⁺
Vízoldható-P	0,60 ⁺⁺	0,78 ⁺⁺⁺
Szignifikáns: ⁺ 5 %; ⁺⁺ 1 %; ⁺⁺⁺ 0,1 % valószínűségi szinten		

mely gyorsan oldatba megy és a gyökérhez tud diffundálni, a növény P-felvétele szempontjából döntőbb jelentőségű, mint az a P-mennyiség, amely "általában", mint a növények számára felvehető P a "kapacitás-érték" jelentő DL-P alakjában van jelen.

Ebben az összefüggésben PAGEL és JENTISCH /1987/ eredményei jelentősek, mivel itt különböző talajoknál a P-szolgáltató képességet a FLOSSMANN és RICHTER /1982/ /kinetikai módszer/, a SUNTHEIM és MATZEL /1985/ /folyamatos vizes kivonás - KWE/ és a PAGEL et al. /1981/ /szorpciós izoterma paramétere/ módszerekkel vizsgálták. A 10. táblázatból látható, hogy két, majdnem

10. táblázat
Két diluviális talaj talaj-P paraméterei
/PAGEL és JENTISCH, 1987/

Paraméter	A-jelű talaj	B-jelű talaj
DL-P, ppm /EGNER és RHIEM szerint/	113	115
KWE 1 h, ppm /SUNTHEIM és MATZEL, 1985/	10	23
P-deszorpció, ppm /PAGEL et al., 1981/	1,3	5,5
V_t , µg/100 min /FLOSSMANN és RICHTER, 1982/	30	78
Egyensúlyi koncentráció, mg/l /PAGEL et al., 1981/	0,2	0,8

azonos DL-P-értéket adó diluviális talaj esetében a B talajból kétszer annyi foszfort lehetett a KWE-módszerrel meghatározni ill. a szorpciós izoterma meghatározásánál négyszer annyi foszfor vált szabaddá, mint az A talaj esetében. A foszfornak az oldatba kerülési sebessége V_t /FLOSSMANN és RICHTER, 1982/ szintén 2,5-szörös volt a B talajnál. Ezen kívül a B talaj P-egyensúlyi koncentrációja is négyszer nagyobb volt.

A növényre vonatkozóan ennek két következménye lehet. Először is: ha az A talaj képes lenne a növények rövid időszak alatt fellépő nagymértékű P-igényét fedezni /eddig még nincsenek határértékeink/, akkor a B talaj az azonos DL-P-érték ellenére, foszforral túl lenne trágyázva, hiszen nyilvánvaló, hogy több, mint kétszer annyi foszfort tud azonos idő alatt a növény rendelkezésére bocsátani. Azaz a különböző kémiai tulajdonságokkal rendelkező talajok esetében az azonos DL-P-értékeknek más a jelentősége! Píllanatnyilag azonban a határértékek még minden talaj számára azonosak! Kétdeti eredmények növénykísérletekkel bizonyítják a fenti gondolatmenetet /RICHTER és FLOSSMANN, 1987/.

Ezzel kapcsolatban megjegyzésre méltó SARKADI és THAMM /1988/ javasolta, hogy az optimális talaj-P-tartalmat a talaj pH-ja, CaCO_3 -tartalma, ill. a kötöttség szerint differenciálni kellene.

Ez az eljárás logikusnak tűnik, mivel a talaj kötöttsége és ezzel együtt a víztároló képessége szignifikáns befolyást gyakorol a gyökér felé irányuló P-diffúzióra /RÖMER és SCHILLING, 1988a; VÉGH-RAJKAI et al., 1989/.

Másodszor: Fentiekből és korábbi vizsgálatokból /RÖMER és SCHILLING, 1986/ látható, hogy a nagy termésekhez szükséges nagy P-felvételi sebesség csak kb. a szárbaszkókésig szükséges. Ezután már a talaj P-szolgáltató képessége sokkal kisebb lehet. Ha az A talaj képes volna a fiatal növények nagy P-szükségletét fedezni, akkor ez azt jelenti, hogy a P-tartalma kisebb lehetne, ha a "csúcsgény" fedezésére időben jól célzott P-kiegészítést adnánk. Ebből felmerül az a kérdés, hogy nem lenne-e értelmes dolog a talajban általában egy kisebb /alacsonyabb/ P-szintet fenntartani, amely a növény szárbaszkókés utáni igényének kielégítését tudná garantálni, és a fosz-

for "csúcsigényét" jól célzott /megfelelő időpontban adott/ P-műtrágyával fedezni /a vetés előtt vagy után, a barázdába, a vetés alá esetleg folyékony műtrágya alakjában adva/, mivel ismert, hogy a növények a felső talajréteg térfogatának csak 1/4-éből veszik fel a foszfort /JUNGK, 1984/. A talaj P-szolgáltató képességének meghatározása szempontjából is felmerül egy megfelelő módszer és érvényes határértékek problémája. A DL-módszer nem elegendő. Folyamatban vannak ennek az állapotnak a megváltoztatását célzó kísérletek /PAGEL és JENTSCH, 1987; FLOSSMANN és RICHTER, 1988; SUNTHEIM és MATZEL, 1985; RÖMER és SCHILLING, 1988c/.

Következtetések

- Nagy gabonatermés eléréséhez a növények szárbaszökéséig naponta nagy P-mennyiségeknek kell hektáronként a növények rendelkezésére állni, mivel a foszforral rosszul ellátott növények bokrosodáskor kevés hajtást hoznak és később kalászonként kevesebb szem kötődik meg.
- Fiatal gabonanövények igen nagy "csúcs" P-igényét helyben /a növények gyökérzónájában/ és időben /közvetlenül a vetés előtt vagy után/ végzett P-műtrágyázással kellene fedezni, a későbbi P-szükségletet pedig a talaj P-szolgáltatása biztosítaná.
- Ennél a foszforral takarékoskodó trágyázási eljárásnál a növények foszforral való ellátottságát ellenőrizni kell és feltehető, hogy a jövőben a savanyú foszfatázok aktivitásának vizsgálatával ez pontosabban valószínűsíthető meg, mint eddig.
- A DL-módszer határértékei eddigelé minden talajra nézve azonosak, de az azonos DL-értékek mögött különböző P-szolgáltatással rendelkező talajok vannak. A talajok P-szolgáltató képességének jobb jellemzésére szolgáló laboratóriumi módszerek kidolgozásán és új határértékek megállapításán most dolgozunk.

Irodalom

- ANSORGE, H. et al., 1981. Einfluss sehr hoher P-Gaben auf Ertrag und P-Gehalt der Ernteprodukte sowie P-Verfügbarkeit im Boden. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenk. 25. 157-163.
- BOATWRIGHT, G. O. and VIETS, F. G., 1966. Phosphorus absorption during various stages of spring wheat and intermediate wheat grass. Agron. J. 58. 185-188.
- BOLLING, H., 1985. Produktion, Qualitätsentwicklung und Vermarktungsmöglichkeiten von Getreide in der EG - Rückblick und Perspektiven. Getreide, Mehl und Brot. 39. 163-167.
- BOUCHET, F., 1982. The intensification of cereal production in France: its importance and outlook. Fertil. and Agric. 83. 3-19.
- BUCHNER, A., 1986. Die Ermittlung der gezielten optimalen Phosphatdüngung und deren Wirtschaftlichkeit. Bundesarbeitskreis Düngung e. V., Kassel. 1-53.
- BUCHNER, A. und STURM, H., 1985. Gezielter Gängen. DLG-Verlag. Frankfurt/Main/.
- FLOSSMANN, R. und RICHTER, D., 1982. Extraktionsmethode zur Charakterisierung der Freisetzung von P aus der festen Phase des Bodens in die Bodenlösung. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenk. 26. 703-709.
- FLOSSMANN, R. und RICHTER, D., 1988. Charakterisierung der Phosphor-Freisetzung und des schwerlöslichen Phosphors in den Böden der DDR. Tag. - Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR. Berlin. 267. 31-37.
- GRANSEE, A., 1987. Neue Möglichkeiten zur Bestimmung des P-Ernährungszustandes von Getreidepflanzen. In: Wiss. Jahrestagung der Bodenk. Ges. DDR: N und P im System Boden - Dünger - Pflanze. 226-231. Berlin.

- GRANSEE, A., 1988. Überwachung des P-Ernährungszustandes wachsender Getreidebestände unter Nutzung von P-Fraktionen und Enzymaktivitäten der Pflanze. Diss. A. Halle.
- GROSSKOPF, W., 1980. Die Entwicklung der Märkte für Getreide. Archiv DLG. 66. 111-119.
- HARENZ, H., 1989. Phosphor-Kreislauf und Verluste. Spectrum 20. 14-16.
- JUNGK, A., 1984. Phosphatdynamik in der Rhizosphäre und Phosphatverfügbarkeit für Pflanzen. Die Bodenkultur. 35. 99-107.
- KLAPP, E., 1958. Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues. Paul-Parey. Berlin-Hamburg.
- KOSCHEL, R., 1989. Ökotechnologie kontra Eutrophierung. Spectrum 20. 17-19.
- MATZEL, W. und SUNIHEIM, L., 1982. Die P-Aufnahme des Getreides. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenk. 26. 425-436.
- MUNK, H., 1976. Die Stellung der Phosphorsäure in der Pflanze. Die Bodenkultur. 27. 229-243.
- MUNK, H., 1983. Phosphaternährung bei standortbezogener Ertragsoptimierung. Phosphatdüngung aus heutiger Sicht. Koll. "Phosphatdüngung" am 3.-4.2. 1983. in Frankfurt /M/. 5-26.
- PAGEL, H. und HUAY, H. van., 1976. Wichtige Parameter der Phosphat-Sorptionskurven einiger Böden der Tropen und Subtropen und ihre zeitliche Veränderung durch P-Düngung. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenk. 20. 765-778.
- PAGEL, H. und JENTISCH, U., 1987. Vergleich verschiedener Methoden zur Charakterisierung des P-Zustandes der Böden. Wiss. Jahrestag der Bodenk. Ges. DDR: N und P im System Boden - Dünger - Pflanze. 187-191. Berlin.
- PAGEL, H., BENKENSTEIN, H. und KRÜGER, W., 1981. Vereinfachte Ermittlung von P-Sorptionsisothermen und ihre Bedeutung für die Erfassung des P-Zustandes und der P-Dynamik im Boden. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenk. 25. 755-764.
- RICHTER, D. und FLOSSMANN, R., 1987. Verfügbarkeit von Boden-P. Wiss. Jahrestag. der Bodenk. Ges. DDR: N und P im System Boden - Dünger - Pflanze. 197-201. Berlin.
- RÖMER, W., 1985. Untersuchungen zur P-Dynamik in Boden und Pflanze als Grundlage für ein materialökonomisches P-Düngungsregime bei hohem Ertragsniveau. Diss. B. Halle.
- RÖMER, W. und SCHILLING, G., 1986. Phosphorus requirement of the wheat plant in various stages of its life cycle. Pland and Soil. 91. 221-229.
- RÖMER, W. und SCHILLING, G., 1988a. Das diffusive Phosphat des Bodens und die Abhängigkeit des Phosphatdiffusionskoeffizienten von exogenen Faktoren. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenk. 32. 115-122.
- RÖMER, W. und SCHILLING, G., 1988b. Beziehungen zwischen der Phosphatdiffusion in Böden und der Phosphataufnahme junger Weizenpflanzen. Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenk. 32. 451-457.
- RÖMER, W. und SCHILLING, G., 1988c. Erfassung von Phosphatdiffusion und Phosphat-Nachlieferung durch ein einfaches Bodenuntersuchungsverfahren. Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss., Berlin. 267. 55-60.
- RÖMER, W., GRANSEE, A. und THOMAS, D., 1988. Beziehungen zwischen dem P-Ernährungszustand junger Weizenpflanzen, dem Korntrag und der P-Lieferbereitschaft von Ackerböden. Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR. 269. 153-159.
- SARIC, M. R., 1987. Progress since the First International Symposium: Genetic Aspects of Plant Universal Nutrition, Beograd, 1982 and perspectives of future research. Pland and Soil. 99. 197-209.
- SARKADI, J. und THAMM, B., 1988. Charakterisierung des optimalen Phosphorversorgungsgrades im Boden. Tagungsbericht der AdL der DDR, Berlin. 267. 167-172.
- SCHILLING, G., 1987. Pflanzenernährung und Düngung. Teil II. - Düngung. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.

- SEIFFERT, M., 1981. Drusch- und Hackfruchtproduktion. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- SUNTHEIM, L. und MATZEL, W., 1985. Die Bestimmung des pflanzenaufnehmbaren Phosphors in Böden mittels der kontinuierlichen Wasserextraktion /KWE/. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 29. 451-456.
- SUNTHEIM, L. und MATZEL, W., 1987. Konsequenzen der Phosphatumsatzung im Boden für die Phosphatapplikation. Tag.-Ber. Akad. Landwirtschaftswiss., Berlin. 257. 49-58.
- THAMM, B. und SARKADI, J., 1988. Methoden zur Erfassung des pflanzenverfügbaren Phosphors. Tagungsbericht der AdL der DDR, Berlin. 267. 39-46.
- VÉGH, RAJKAI, K., FÜLEKY, G. and VARRÓ, T., 1989. Phosphorus diffusion to roots as influenced by soil moisture and nutrient content. XI. Intern. Plant Nutr. Coll., Wageningen.
- VIELEMEYER, H. P. et al., 1983. Ein neues Verfahren zur Ableitung von Pflanzenanalysegrenzwerten für die Einschätzung des Ernährungszustandes landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 27. 445-453.
- VOSE, P. B., 1983. Rationale of selection for specific nutritional characters in crop improvement with *Phaseolus vulgaris* L. as a case study. Plant and Soil. 72. 351-364.
- WEITE, E. und TIMMERMANN, F., 1985. Düngung und Umwelt. Verlag W. Kohlhammer GmbH. Stuttgart und Mainz.
- WITTER, B., 1988. Entwicklung des Kalkzustandes und der Nährstoffversorgung der Böden der DDR. Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin. 267. 191-198.
- WUHB, ABEBA, 1985. Untersuchungen zur gezielten Phosphatdüngung bei Sommerweizen "Hatri" mittels Gefäßversuchen. Diplomarbeit, Halle.

W. RÖMER és G. SCHILLING

Martin-Luther Egyetem Növénytermesztési
Tanszék, Halle /Németország/

Érkezett: 1991. február 10.